# Caracterização de biocarvões produzidos com resíduos de açaí e castanha-do-Brasil

# Characterization of biochar produced with waste from açai and Brazil nuts

DOI:10.34117/bjdv8n4-308

Recebimento dos originais: 21/02/2022
Aceitação para publicação: 31/03/2022

**Luiz Dias Júnior**
Mestre em Agricultura no Trópico Úmido (INPA)
Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA
Endereço: Av. André Araújo, 2936, Aleixo, CEP: 69060-001- Manaus - AM
E-mail: diasjuniorluiz@hotmail.com

**Wylker Cruz de Castro**
Mestre em Agricultura no Trópico Úmido (INPA)
Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA
Endereço: Av. André Araújo, 2936, Aleixo, CEP: 69060-001- Manaus - AM
E-mail: castro.wylker93@gmail.com

**Eyde Cristianne Saraiva Bonatto**
Doutora em Planejamento de Sistemas Energéticos (UNICAMP)
Instituição: Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
Endereço: Av. General Rodrigo Octávio, 6200, Coroado I, CEP: 69080-900 - Manaus - AM
E-mail: eydesaraiva@ufam.edu.br

**Newton Paulo de Souza Falcão**
Doutor em Agronomia (Esalq - USP)
Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA
Endereço: Av. André Araújo, 2936, Aleixo, CEP: 69060-001 - Manaus - AM
E-mail: nfalcao@inpa.gov.br

## RESUMO
O biocarvão é um material que tem sido amplamente difundido como condicionador de solo e no uso associado com fertilizantes. A matéria-prima e a temperatura utilizadas em sua produção interferem diretamente em características como eletronegatividade, pH e tamanho de poros. Assim, este trabalho teve como objetivo caracterizar dois tipos de biocarvão produzidos a partir de açaí e da castanha-do-Brasil. As matérias-primas foram secas, trituradas, peneiradas e submetidas a três temperaturas em mufla com tempo de residência de 2h. A caracterização foi feita por espectroscopia RAMAN, microscopia eletrônica de varredura (MEV), potencial zeta, rendimento e determinação de nutrientes. Todos os biocarvões apresentaram estrutura desordenada, com pH alcalino e superfície eletronegativa.

**Palavras-chave:** resíduo agrícola, biomassa, condicionador do solo.

## ABSTRACT
Biochar is a material that has been widely disseminated as a soil conditioner and in the use associated with fertilizers. The raw material and temperature used in its production directly

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

interfere with characteristics such as electronegativity, pH and pore size. Thus, this work aimed to characterize two types of biochars produced from açai and the Brazil nut seeds. The raw materials were dried, crushed, sieved and submitted to three temperatures in a muffle furnace in the residence time of 2h. The characterization was done by RAMAN spectroscopy, scanning electron microscopy (SEM), zeta potential, yield and nutrient determination. All biochars presented a disordered structure, with alkaline pH and with an electronegative surface.

**Keywords:** agricultural waste, biomass, soil conditioner.

## 1 INTRODUÇÃO

O biocarvão é um condicionador de solo feito geralmente de biomassa vegetal parcialmente pirolisada em baixas temperaturas sem a presença ou em baixas concentrações de oxigênio, produzido para ser incorporado ao solo a fim de melhorar suas características, sequestrar carbono e aumentar a filtração da água (Lehmann e Joseph, 2009; Bird et al., 2014).

A sua produção é inspirada no carvão das Terras Preta de Índio (TPIs) (Novotny et al., 2015) que são solos escuros altamente férteis, que apresentam material cerâmico, ossadas e carvão pirogênico (Jorio et al., 2012). As TPIs possuem altas concentrações de fósforo, cálcio, magnésio, manganês e o pH é mais alto que os dos solos adjacentes. Possuem boa estrutura e níveis de saturação de bases bons para agricultura (Woods, 2003). As investigações sobre as propriedades deste solo apontaram, que na sua maioria, são resultado da presença do carvão pirogênico oriundo da queima de matéria orgânica, como restos vegetais e animais (Falcão et al., 2019).

O carvão da TPI possui um núcleo carbonáceo, tomado de nanoporos e com a superfície externa altamente reativa, características que contribuem ativamente para a elevada CTC nesses solos. Na tentativa de recriar as propriedades do carvão pirogênico das TPIs chegou-se ao biocarvão (Jorio et al., 2012).

Na área agrícola o biocarvão vem sendo usado como condicionador do solo e pela capacidade de reter água e nutrientes essenciais (Morales et al., 2013; Trazzi et al., 2016). Para produção do biocarvão geralmente são usados resíduos agrícolas e/ou agroindustriais (Pereira et al., 2016; Souza et al., 2019) tendo como efeito direto a mitigação de danos ambientais, já que muitos destes resíduos não possuem destinação adequada (Nogueira e Lora, 2013) como o caroço do açaí (Santos et al. 2018) e os resíduos do beneficiamento da castanha-do-Brasil (Ferreira et al. 2016).

Outros fatores de grande destaque na produção do biocarvão são as variedades de formas na quais é possível produzi-lo como a pirólise, torrefação, gaseificação (Kambo e Dutta, 2015; Qambrani et al., 2017) e a grande quantidade de resíduos orgânicos, de origem animal ou vegetal,

que podem ser utilizados, como o lodo de esgoto, rejeito de suínos e cascas de diferentes grãos (Rajkovich et al., 2012; Fang et al., 2013; Hale et al., 2013).

Para utilizar um biocarvão de forma adequada é necessário caracterizá-lo já que a matéria prima e a temperatura influenciam diretamente nas propriedades e nas implicações para seu uso. Biocarvões feitos do mesmo material podem ter diferenças significativas em sua estrutura e composição química (Cantrell et al., 2011; Souza, 2019).

Os resíduos utilizados neste trabalho são facilmente encontrados na região Norte do Brasil e a produção de biocarvão de açaí (BA) e de castanha-do-Brasil (BC) pode se tornar uma alternativa de utilização para esses materiais. Assim, tanto a caracterização das propriedades químicas quanto das propriedades físicas é necessária para indicar seu melhor uso. Desta forma o presente trabalho caracterizou dois biocarvões produzidos em laboratório utilizando duas fontes diferentes de matéria prima (açaí e castanha-do-Brasil), submetidas a três diferentes temperaturas de pirólise.

## 2 MATERIAL E MÉTODO

### 2.1 COLETA DAS AMOSTRAS E PRODUÇÃO DOS BIOCARVÕES

Para a produção do biocarvão de castanha-do-Brasil (*Bertholletia exelsa* Bonpl.) foi usada a casca por ser um resíduo pouco usado se comparado ao ouriço. As cascas foram coletadas de vendedores ambulantes da cidade de Manaus. Esse material é o rejeito direto do beneficiamento das castanhas que são descascadas e vendidas in natura. Depois de coletado, o resíduo foi seco a 105ºC por 24h e triturado em moinho de faca.

O caroço de açaí (*Euterpe precatoria* Mart.) foi coletado em Manaus no Mercado Municipal Walter Rayol, sendo proveniente da despolpa dos frutos para produção do vinho de açaí. Quando coletados, os caroços se encontram extremamente úmidos e por conta disto foram deixados para secar ao ar livre. Após a secagem natural, foram colocados em estufa a 105ºC por 24h e triturados no moinho.

O material triturado foi colocado em cadinhos de porcelana com tampa e pirolisado utilizando o forno do tipo mufla sob ar atmosférico nas temperaturas de 300ºC, 500ºC e 700ºC com o tempo de residência de 120 minutos. Depois de prontos, foram passados em conjunto de peneiras de 20 mesh até 100 mesh e o material retido na peneira 100 mesh foi utilizado para a realização das análises.

### 2.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA

As amostras foram analisadas no microscópio eletrônico de varredura modelo MEV-LEO 435 VP. Foram feitas micrografias variando nos tamanhos de 1 µm até 500 nm. Também foi realizado o mapeamento de elementos de uma amostra de cada biocarvão nas diferentes temperaturas por meio de espectroscopia por energia dispersiva (EDS).

Para a medição do potencial zeta e do tamanho de partículas foi pesado 0,02 g da amostra em pó dispersa em uma mistura composta por 10 mL de água deionizada e 10 mL de álcool etílico PA. Posteriormente a solução foi deixada três minutos no ultrassom para serem feitas as análises no aparelho MALVERN Zetasizer Nanosizer – Zs.

Os biocarvões foram analisados por meio de espectroscopia Raman no aparelho B&W Tek modelo InnoRam-532H com comprimento de onda do laser de 532 nm. Para a medição, o tempo de integração foi de 3 minutos onde foram feitas cinco aquisições utilizando laser setado em 15% da potência máxima (50mW) e lente objetiva de 40X. Os dados foram tratados no programa OriginPro 8,5.

A análise de macro e micronutrientes foi realizada pelo método de digestão nitro-perclórica utilizada para análises de tecido vegetal (EMBRAPA, 1999) seguida de determinação de fósforo por titulação e dos demais elementos por espectrofotometria de absorção atômica. O pH foi medido com uma solução de 1g de biocarvão em 20 ml de água destilada agitadas por 90 minutos (International Biochar Initiative - IBI, 2015). O rendimento foi calculado pela razão da matéria prima seca utilizada pelo material pirolisado multiplicado por 100 (Sato et al., 2019).

### 2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O experimento foi realizado em Delineamento Inteiramente Casualizado no esquema fatorial 2 x 2 para dois tipos de biomassas (açaí e castanha-do-Brasil) submetidos a três temperaturas (300ºC, 500ºC e 700ºC) com três triplicatas. Os resultados obtidos foram submetidos à análise variância (ANOVA) e quando houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos foi realizado o teste Tukey. As análises estatísticas foram conduzidas no programa R Studios.

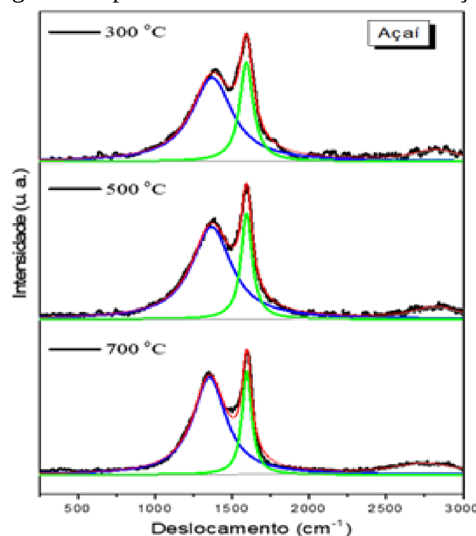
## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 ESPECTRO RAMAN DAS AMOSTRAS

Os espectros dos biocarvões de açaí - BA (Fig. 1) mostram que a 300ºC existe um número elevado de imperfeições na estrutura. A partir do aumento da temperatura de pirólise essas imperfeições vão diminuindo e o carbono $sp^2$ aumenta. A 700ºC a razão ID/IG tem um valor de

0,93 (Tab. 1). A banda D se deslocou para um menor número de onda com aumento da temperatura. No biocarvão de 300ºC o centro da banda estava localizado em 1413 $cm^{-1}$ e foi para 1361 $cm^{-1}$ no de 700ºC.

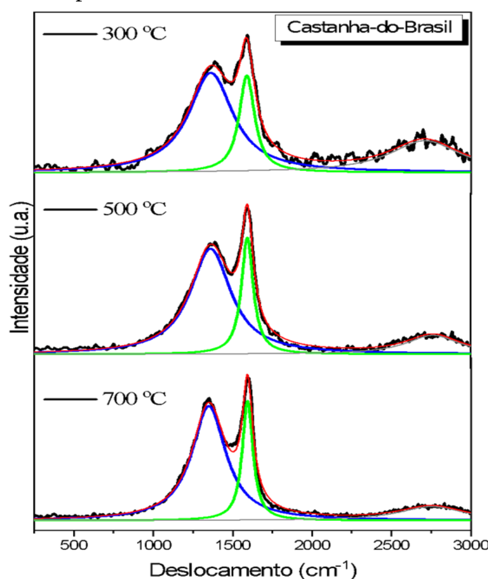
Figura 1 Espectro Raman do biocarvão de açaí




Fonte: Autor

A banda 2D ficou evidente a partir da temperatura de 500ºC e se manteve em 700ºC. Essa banda indica a presença de simetria hexagonal no carbono sp² (Ye et al., 2019). Souza (2019) não encontrou a presença da banda 2D nos biocarvões que produziu. Provavelmente o tempo de pirólise de 15 min, muito curto, se comparado ao deste experimento, que foi de 2h, teve relação direta com a cristalização dos biocarvões.

Figura 2 Espectros Raman do biocarvão de castanha-do-Brasil




Fonte: Autor

É possível observar um aumento do valor razão ID/IG em função da temperatura (Tab. 1). A intensidade da banda G diminui ao passo que da banda D aumenta, indicando o aumento de defeitos estruturais.

Materiais carbonáceos, apresentam duas bandas características na região de 1355 $cm^{-1}$ e 1575 $cm^{-1}$ (Tunistra e Koenig, 1970; Oliveira et al., 2019). Essas bandas conhecidas como G e D se relacionam com o grau de defeito do material (Aquafresca e Tagliaferro, 2018). Valores entre a razão destas bandas que estejam acima de 1 indicam maiores defeitos enquanto valores abaixo indicam um material com mais carbono grafite (Oliveira et al., 2019).

A banda G é correspondente ao carbono do tipo $sp^2$ estrutural e das ligações C=C presentes nos biocarvões (Sousa et al., 2020) e a banda D indica a presença de defeitos na estrutura (Oliveira et al., 2019). Segundo Ribeiro-Soares et al. (2013) o biocarvão produzido em laboratório é mais cristalino e inerte se comparado aos carvões encontrados na Terra Preta de Índio o que comparativamente significa que o biocarvão acrescenta menos a fertilidade do solo do que os carvões antigos ou a terra queimada.

Tabela 1 Relação ID/IG dos biocarvões de açaí e castanha-do-Brasil

| Biocarvão | ID/IG |
|---|---|
| A300 | 1,04 |
| A500 | 1,03 |
| A700 | 0,93 |
| C300 | 0,66 |
| C500 | 0,81 |
| C700 | 0,91 |

Fonte: Autor

Neste trabalho optou-se pelo uso da largura da banda G (ΓG). Para chegar aos valores de tamanho foi usada a equação (1) abaixo conforme utilizada por Falcão et al. (2019):

$$(1)\ L\alpha = 496 / (\Gamma G - 15)$$

Segundo Ribeiro-Soares et al. (2013), carvões feitos em laboratório apresentam cristalito com tamanhos entre 7–11 nm, valores semelhantes aos encontrados conforme a tabela 2 abaixo:

Tabela 2. Tamanho de cristalito dos diferentes biocarvões

| Biocarvão | Lα (nm) |
|---|---|
| A300 | 7,6 |
| A500 | 9,7 |
| A700 | 8,1 |
| C300 | 6,7 |
| C500 | 8 |
| C700 | 7,6 |

Fonte: Autor

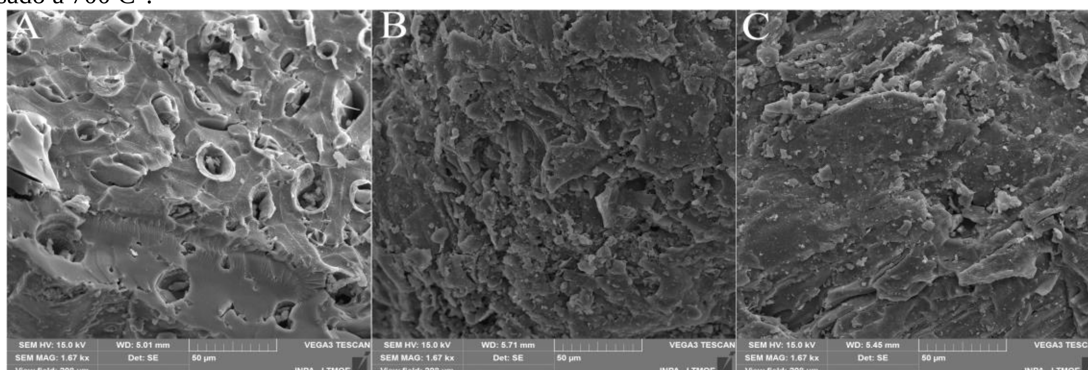
## 3.2 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) E ESPECTROSCOPIA DE ENERGIA DISPERSIVA (EDS)

A partir das micrografias eletrônicas dos biocarvões é possível perceber a mudança na estrutura superficial com o aumento da temperatura. Além das micrografias eletrônicas, foi feito o mapeamento de elementos por EDS.

O BA na temperatura de 300º (Fig. 3) possui uma superfície tomada de poros que se alterna em regiões rugosas e lisas. Quando a temperatura chega a 500ºC o número de poros aparentes no grão de biocarvão diminui e na superfície externa nota-se a presença de placas. É possível observar que apesar das camadas na superfície externa indicarem uma diminuição dos poros, ainda existem aqueles no interior do grão de biocarvão. Estes poros internos na sua maioria se apresentam dispersos com um formato arredondado e de tamanho menor que 20 µm.

Na temperatura de 700º, o número de poros diminui de forma mais acentuada e na superfície, as camadas finas que anteriormente estavam justapostas agora aparentam ter se fundido formando camadas mais grossas. O interior ainda possui poros, no entanto de tamanho maior. Pessoa et al. (2019) encontraram macro e meso poros além de agregados na superfície de biocarvão de açaí muito semelhantes aos encontrados no biocarvão feito a 300 °C.

Figura 3. Micrografias dos biocarvões de açaí. (A) BA pirolisado a 300 °C; (B) BA pirolisado a 500 °C; (C) BA pirolisado a 700 C°.




Fonte: Autor

O espectro EDS do BA de 300ºC (Tab. 3) apresentou os elementos carbono, oxigênio, potássio e cálcio. O BA 500ºC além dos picos para os mesmos elementos apresentou para cloro, manganês e ferro. No BA 700ºC só restam os elementos geralmente encontrados nas cinzas que são o potássio, cálcio e carbono estrutural.

Tabela 3. Composição elementar dos biocarvões de açaí

| BA | Temperatura (C°) | | |
|---|---|---|---|
| Elemento (%) | 300 | 500 | 700 |
| C | 75,94 | 85,05 | 98,76 |
| O | 23,57 | 11,52 | |
| K | 0,45 | 2,18 | 1,1 |
| Ca | 0,04 | 0,28 | 0,14 |
| Cl | | 0,95 | |
| Mn | | 0,02 | |
| Fe | | 0,01 | |

Fonte: Autor

O BC (Fig. 4) teve um comportamento diferente dos outros biocarvões em relação a sua superfície com o aumento da temperatura de pirólise. O BA teve uma diminuição dos poros com o aumento da temperatura usada. O BC feito a 300ºC apresenta uma estrutura maciça e quase sem poros. Na micrografia do BC de 500ºC fica evidente a presença de poros e no BC 700ºC o número de poros na superfície tem um aumento significativo.

O espectro EDS do BC (Tab. 4) mostrou a presença de mais elementos que o BA. A 300ºC apresentou os elementos carbono, oxigênio, potássio, cálcio e bário. Em 500ºC houve um acréscimo dos elementos ferro, manganês e magnésio. E a 700ºC apresentou carbono, potássio, cálcio, magnésio, oxigênio e bário.

A presença do bário (Ba) no BC é diretamente ligada à acumulação deste elemento pela planta. Segundo Parekh et al. (2008) as quantidades elevadas de Ba nas castanhas que se desenvolvem no Brasil são resultado do solo rico em holandita. O mineral holandita de composição $Ba_2Mn_8O_{16}$ é encontrado na região sudeste do estado Amazonas assim como outros minerais magnesianos que são fontes de Mn no solo (Silva et al. 2012).

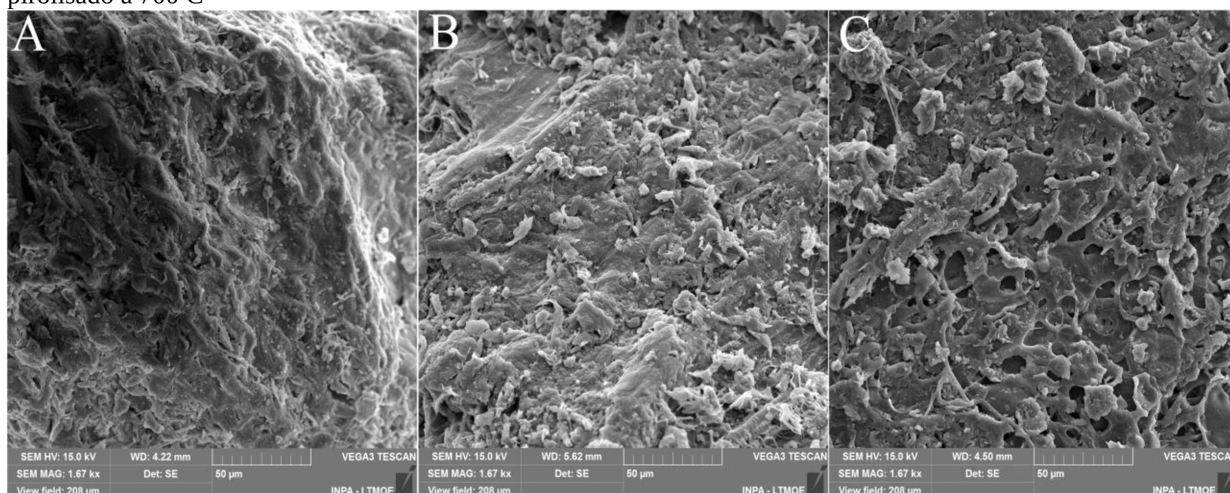
Tabela 4. Composição elementar dos biocarvões de castanha

| BC | Temperatura (C°) | | |
|---|---|---|---|
| Elemento (%) | 300 | 500 | 700 |
| C | 70,57 | 84,76 | 88,13 |
| O | 28,86 | 12,44 | 9,09 |
| K | 0,29 | 0,73 | 1,51 |
| Ca | 0,1 | 0,63 | 0,39 |
| Ba | 0,18 | 1,14 | 0,68 |
| Mg | | 0,22 | 0,2 |
| Mn | | 0,04 | |
| Fe | | 0,04 | |

Fonte: Autor

O bário foi encontrado em todas as temperaturas utilizadas e demonstra como a escolha da matéria prima é importante para as características do biocarvão. Matérias primas com resíduos de metal pesado ou outra substância tóxica podem levar ao aparecimento destes contaminantes no produto final dependendo de como foi feita a sua a produção e da quantidade inicial que estava presente. Assim como as matérias primas que possuam grande quantidade de macro ou micronutrientes são igualmente importantes

Figura 4. Micrografias dos biocarvões de castanha. (A) BC pirolisado a 300 °C; (B) BC pirolisado a 500 °C; (C) BC pirolisado a 700 C°




Fonte: Autor

## 3.3 PROPRIEDADES ELETROQUÍMICAS E RENDIMENTO

Todos os biocarvões analisados foram eletronegativos, no entanto houveram diferenças entre o potencial zeta e o tipo de biocarvão (temperatura e biomassa). O BA teve o potencial zeta menos eletronegativo e o BC teve um aumento da eletronegatividade acompanhando a temperatura de produção.

Mukherjee et al. (2011) notaram que os três biocarvões que avaliaram se tornavam mais eletronegativos com o aumento do pH da solução demonstrando a ligação entre as cargas da superfície do biocarvão e a solução onde se encontravam. Segundo Taheran et al. (2016) o potencial zeta se torna mais eletronegativo com o aumento do pH fazendo com que o biocarvão passe a repelir moléculas com a mesma carga.

Os valores negativos de potencial zeta indicam uma alta estabilidade coloidal (Murdock et al. 2008). A estabilidade coloidal é a capacidade de uma partícula, de se manter livre no meio coloidal (Soares et al. 2019).

Tabela 5. Rendimento, pH e potencial zeta dos biocarvões produzidos

| Biocarvão | Temperatura | Rendimento | pH | PZ(mV) |
|---|---|---|---|---|
| BA | 300C° | 44,20% | 5,9 | -16,8 |
| | 500C° | 28,90% | 8,9 | -12,1 |
| | 700C° | 25% | 9,9 | -19,93 |
| BC | 300C° | 53,60% | 8,8 | -29,13 |
| | 500C° | 33,60% | 10 | -54,73 |
| | 700C° | 29,60% | 10,3 | -60,12 |

Fonte: Autor

Desta forma as partículas dos biocarvões eletronegativos não formam agregados na solução do solo. Os valores de potencial zeta encontrados também indicam uma superfície predominantemente eletronegativa e certamente repelirão os ânions da solução do solo ou da solução do meio que serão introduzidos.

Os biocarvões apresentaram pH alcalino variando de 8 a 10, sendo que o BC apresentou os maiores valores. A exceção foi o BA feito na temperatura de 300ºC, que apresentou um pH de 5,9. O biocarvão que apresentou o maior rendimento dentre todos foi o BC a 300ºC, com 53,6%, seguido do BA com 44,2%.

3.4 Macro e Micronutrientes.

As quantidades dos nutrientes fósforo, cálcio, magnésio, potássio, sódio, ferro, zinco, manganês tiveram variação entre as matérias-primas e temperaturas usadas, assim como apresentaram interações entre esses fatores (Tab. 6).

Tabela 6. Macro e micronutrientes encontrados nos biocarvões

| Biocarvão | Temperatura | P | Ca | Mg | K | Na | Fe | Zn | Mn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ----------------------------------------g/Kg-1------------------------------------- | | | | | | | |
| BA | 300Cº | 1,85bB | 2,14bC | 1,28abB | 6,63bC | 1,76bC | 0,16aC | 0,01bB | 0,05aC |
| | 500Cº | 3,0bA | 4,16bB | 1,74bA | 9,18cB | 3,27aB | 0,34aB | 0,02aA | 0,08aB |
| | 700Cº | 3,2bA | 5,68bA | 2,04aA | 12,59cA | 6,84bA | 0,38bA | 0,03bA | 0,1aA |
| BC | 300Cº | 2,16aC | 2,95aC | 1,50aB | 7,25bC | 2,06aC | 0,10bB | 0,02aB | 0,03bB |
| | 500Cº | 3,33aA | 5,63aB | 2,16aA | 11,79bB | 3,13abB | 0,19bA | 0,02aB | 0,05bA |
| | 700Cº | 2,69cB | 6,63aA | 2,05aA | 16,84bA | 5,31cA | 0,19cA | 0,03bA | 0,05bA |

Fonte: Autor

O aumento da temperatura da pirólise reduziu a quantidade de todos os macronutrientes avaliados, à exceção do potássio, que teve aumento em todos os biocarvões. Os teores de fósforo, cálcio e magnésio foram muito baixos independente da matéria prima e da temperatura utilizada na produção. Para os micronutrientes foi observado um aumento nos teores de Na em todos os biocarvões.

Houve um aumento nos teores de ferro, zinco e manganês com a temperatura. Os teores de nutrientes encontrados foram muito baixos, principalmente fósforo, cálcio e magnésio. Souza (2018) encontrou quantidades de fósforos muito maiores em biocarvões de resíduos de algodão e rejeitos de suínos que são materiais com já possuem maiores teores de P em sua composição.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os biocarvões de açaí e castanha possuem uma estrutura desordenada com o tamanho do cristalito variando de 6 a 9 nm. Todos apresentaram poros na superfície com tamanhos variados. São fortemente eletronegativos e com pH alcalino. O BA apresentou mais poros na temperatura de 300ºC e o BC tornou-se mais poroso com aumento da temperatura. O maior rendimento nas três temperaturas avaliadas foi observado no BC. As quantidades de nutrientes residuais encontrados não são relevantes do ponto de vista agrícola.

**REFERÊNCIAS**

Acquafresca, J.; Tagliaferro, A. 2018. Raman Spectroscopy on Biochar. Master's thesis, Politecnico Di Torino.

Bird, M.; Wynn, J. G.; Saiz, G.; Wurster, C. M.; Mcbeath, A. 2014. The Pyrogenic Carbon Cycle. Annual Review of Earth and Planetary Sciences. 43p.

Cantrell, K. B.; Hunt, P. G.; Uchimiya, M.; Novak, J. M.; Ro, K. S. 2011. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. Bioresource Technology,107, 419–428.

Embrapa. 1999. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília. 370p.

Falcão, N. P. S., et al. 2019. Spectroscopic and chemical analysis of burnt earth under Amazonian home garden systems and anthropic Amazonian dark soils. Net Journal of Agricultural Science Vol. 7(1), pp. 1-12.

Fang, Q.; Chen, B.; Lin, Y.; Guan, Y. 2013. Aromatic and Hydrophobic Surfaces of Wood-derived Biochar Enhance Perchlorate Adsorption via Hydrogen Bonding to Oxygen-containing Organic Groups. Environmental Science & Technology, 48(1), 279–288.

Ferreira, A. B.; Foletto, E. L.; Jahn, S. L.; Collazzo, G. C. 2016. Produção de biochar a partir de pirólise de biomassas e sua aplicação como adsorvente. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Natal, RN, Brasil. 22 Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Natal: Anais de Trabalho, v.1. p.1 – 1

Hale, S. E.; Ailling, V.; Martinsen, V.; Mulder, J. 2013. The sorption and desorption of phosphate-P, ammonium-N and nitrate-N in cacao shell and corn cob biochars. Chemosphere. 91.

IBI - International Biochar Initiative. 2015. Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar That Is Used in Soil.

Jorio, A.; Ribeiro-Soares, J.; Cançado, L. G.; Falcão, N. P. S.; Santos, H. F.; Baptista, D.L.; Martins Ferreira, E. H.; Archanjo, B. S.; Achete, C. A. 2012. Microscopy and spectroscopy analysis of carbon nanostructures in highly fertile Amazonian anthrosoils. Soil & Tillage Research, 122 (2012) 61–66.

Kambo, H. S., Dutta, A. 2015. A comparative review of biochar and hydrochar in terms of production, physico-chemical properties and applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 359–378

Lehmann, J.; Joseph, S. 2009. Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Earthscan, London. 405p.

Morales, M. M.; Comerford, N.; Guerrini, I. A.; Falcão, N. P. S.; Reeves, J.B. 2013. Sorption and desorption of phosphate on biochar and biochar-soil mixtures. Soil Use and Management, 29(3), 306–314

Mukherjee, A.; Zimmerman, A. R.; Harris, W. 2011. Surface chemistry variations among a series of laboratory-produced biochars, Geoderma, Volume 163, Issues 3–4, 247-255

Murdock, R. C.; Braydich-Stolle, L.; Schrand, A. M.; Schlager, J. J.; Hussain, S. M. 2008. Characterization of Nanomaterial Dispersion in Solution Prior to In Vitro Exposure Using Dynamic Light Scattering Technique. TOXICOLOGICAL SCIENCES 101(2), 239–253

Nogueira, L. A. H.; Lora, E. E. S. 2013. Dendroenergia: fundamentos e aplicações. 2 ed. Rio de Janeiro, Interciência. 199p.

Novotny, E. H.; Maia, C. M. B. F.; Carvalho, M. T. M.; Madari, B. E. 2015. Biochar: pyrogenic carbon for agricultural use - a critical review. Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa, v. 39, n. 2, p. 321-344.

Oliveira, A. E. F.; Pereira, A. C.; Bettio, G. B.; Tarley, C. R. T. 2019. Síntese, Estudo e Caracterização Estrutural da Redução Térmica e com Hidrazina do Óxido de Grafeno por Espectroscopia Raman e Espectroscopia de Infravermelho. Rev. Virtual Quim., 11 (3), 866-877.

Parekh, P. P.; Khan, A. R.; Torres, M. A.; Kitto, M.E. 2008. Concentrations of selenium, barium, and radium in Brazil nuts. Journal of Food Composition and Analysis, 21: 332–335.

Pereira, L. L.; Zubiolo, C.; Nascimento, J. S.; Freitas, L. S.; Ruzene, D. S.; Silva, D.P. 2016. Produção de biochar a partir da pirólise de resíduos agroindustriais. In: Simpósio de engenharia de produção de Sergipe, 8., 2016, São Cristóvão. Anais eletrônicos. São Cristóvão:DEPRO/UFS. 311-319.

Pessoa, T. S.; et al. 2019. Açaí waste beneficing by gasification process and its employment in the treatment of synthetic and raw textile wastewater. Journal of Cleaner Production 240.

Qambrani, N. A.; Rahmana, Md. M.; Wonc, S.; Shima, S.; Raa, C. 2017. Biochar properties and eco-friendly applications for climate change mitigation, waste management, and wastewater treatment: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 79. 255-273.

Rajkovich, S.; Enders, A.; Hanley, K.; Hyland, C.; Zimmerman, A.R.; Lehmann, J. 2012. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. Biol Fertil Soils. 48: 271.

Ribeiro-Soares, J.; Cançado, L. G.; Falcão, N. P. S.; Martins Ferreira, E. H.; Achete, C. A.; Jorio, A. 2013. The use of Raman spectroscopy to characterize the carbon materials found in Amazonian anthrosoils. J. Raman Spectrosc, 44, 283–289.

Rodrigues, T. E. 1996. Solos da Amazônia. In: Alvarez, V. H.; Fontes, L. E. F.; Fontes, M. P. F. (Eds.). O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa: SBCS, UFV, DPS. 19-60

Rodrigues, T. O. 2009. Efeitos da Torrefação no Condicionamento de Biomassa para Fins Energético. Mestrado em Engenharia Florestal. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 71p.

Santos, G. S.; Santos, C. C. S.; Sena, C. C. 2018. Descarte e reaproveitamento dos caroços de açaí das batedeiras do município de laranjal do jari – ap: uma solução possível! CONRESOL. 1º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade. Junho de 2018. Gramados-RS.

Sato, M. K.; de Lima, H. V.; Costa, A. N.; Rodrigues, S.; Pedroso, A. J. S.; de Freitas Maia, C. M. B. 2019.Biochar from Acai agroindustry waste: Study of pyrolysis conditions. Waste management (New York, N.Y.), vol: 96, pg: 158-167.

Silva, P. J. M.; Horbe, A. M. C; Horbe, M. A. 2012. Mineralogia e geoquímica de ocorrências manganesíferas da bacia Alto Tapajós, sudeste do estado do Amazonas, Brasil. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi Cienc. Nat., Belém, v. 7, n. 1, p. 11-28, abr.

Sousa, D. V.; Guimarães, L. M.; Félix, J. F.; Ker, J. C.; Schaefer, C. E. R. G.; Rodet; M. J. 2020. Dynamic of the structural alteration of biochar in ancient Anthrosol over a long timescale by Raman spectroscopy. PLoS ONE 15(3): e0229447

Souza, M. H. 2019. Caracterização e efeitos de biocarvões para uso agronômico em solo arenoso. Tese de doutorado. Universidade federal de mato grosso, faculdade de agronomia e zootecnia. Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, 150p.

Souza, E. S.; Dias, Y. N.; Costa, H. S. C.; Pinto, D. A.; Oliveira, D. M.; Falcão, N. P. S; Fernandes, A. R. 2019. Organic residues and biochar to immobilize potentially toxic elements in soil from a gold mine in the Amazon. Ecotoxicology and Environmental Safety, 169, 425–434.

Taheran, M.; et al. 2016. Adsorption study of environmentally relevant concentrations of chlortetracycline on pinewood biochar. Science of The Total Environment, Volume 571, November, Pages 772-777.

Trazzi, P. A.; Leahy, J.J.; Hayes, H.; Kwapinski, W. 2016. Adsorption and desorption of phosphate on biochars. Journal of Environmental Chemical Engineering, Volume 4, Issue 1, 37-46.

Tuinstra, F.; Koenig, J. L. 1970. Raman Spectrum of Graphite. J. Chem. Phys. 53, 1126.
Woods, W. I. 2003. Development and Antrosol Research. In: Lehmann, J.; Kern, D.C.; Glaser, B.; Woods, W.I. (Ed.) Amazonian Dark Earths. Origin, properties and management. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 3-28p.

Ye, S.; et al. 2019. Facile assembled biochar-based nanocomposite with improved graphitization for efficient photocatalytic activity driven by visible light. Applied Catalysis B: Environmental 250, 78–88.